

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1. Il significato fisico dell'umidità

Il termine umidità si riferisce genericamente alla presenza di acqua in un gas, in un liquido o in un solido portante. Molto spesso, tuttavia, tale termine è utilizzato riferendosi implicitamente all'umidità dell'aria, volendo quindi intendere la quantità di vapor d'acqua contenuto nell'aria atmosferica. Sebbene l'acqua presente in forma gassosa nell'atmosfera intorno a noi costituisca una percentuale estremamente ridotta (minore dell'uno per cento), la sua presenza condiziona notevolmente moltissimi fenomeni che interessano la nostra quotidianità. Poiché, infatti, l'acqua sul nostro pianeta può essere presente in tre stati di aggregazione (solido, liquido e gassoso), molti sono fenomeni che avvengono al passaggio da uno stato all'altro. Mentre l'acqua nello stato di vapore costituisce uno dei componenti della nostra atmosfera, l'acqua in fase solida può essere presente nell'alta atmosfera, quando si raccoglie in minutissimi aghi di ghiaccio a formare le nubi denominate cirri, cirrostrati e cirrocumuli, mentre l'acqua in fase liquida si trova in tutte le nubi ad altezze medio-basse. Da ciò si comprende facilmente come l'umidità possa condizionare non solo il clima ed il benessere termogrometrico, ma anche una enorme varietà di processi, sia in ambito civile che industriale, oltre al nostro stesso stato di salute. In generale, infatti, condizioni di freddo umido incidono sul benessere dell'organismo umano, favorendo affezioni artroreumatiche, infiammazioni delle prime vie aeree e generando sensazioni di malessere fisiologico. Allo stesso modo, il caldo umido favorisce altre patologie generando comunque una condizione di malessere per il nostro organismo.

Uno dei fenomeni più tangibili della presenza d'acqua nell'atmosfera è rappresentato dalla nebbia e dalla brina mattutina. La nebbia, infatti, consiste in una massa di piccolissime goccioline d'acqua che si formano per condensazione del vapore in prossimità della superficie terrestre quando la stessa presenta una temperatura inferiore alla temperatura di rugiada. Per meglio comprendere il significato della temperatura di rugiada, bisogna sapere che in una data quantità (ad esempio un metro cubo) di aria, ad assegnate temperatura e pressione, può essere presente al massimo una certa quantità di vapore (in genere espressa in grammi), che dipende dalla pressione e dalla temperatura. Poiché, fissata la pressione, la quantità massima di vapore che l'aria può contenere diminuisce al diminuire della temperatura, la temperatura di rugiada rappresenta la condizione di *incipiente condensazione*, in corrispondenza della quale l'aria viene definita satura. Ad una ulteriore diminuzione della temperatura, l'acqua in eccesso verrebbe rilasciata dall'aria sotto forma di acqua liquida ed il nome *temperatura di rugiada* ben descrive tale processo poiché ricorda le goccioline che si formano sulle foglioline d'erba, ossia la rugiada. E' per questo motivo che la nebbia tende a formarsi durante le ore notturne e del primo mattino quando la temperatura del

suolo è più bassa oppure su superfici umide quali stagni, paludi, corsi d'acqua, fiumi.



*Figura 1-1 – La nebbia: abbazia di Montecassino (Cassino, FR).*

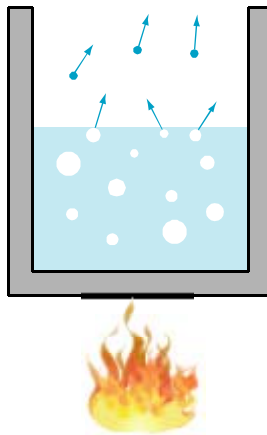
Molti sono i fattori di interesse pratico che, nella vita di tutti i giorni, sono connessi alla presenza di umidità nell'aria che ci circonda. Ulteriori esempi sono costituiti dalla formazione di condense, nonché dall'essiccamento delle pareti o del bucato. Siamo soliti infatti osservare in giornate o ambienti molto umidi (bagni, cucine) sia la presenza di fastidiose condense, che se persistono possono dar luogo a inestetiche e insalubri muffe, sia all'allungamento dei periodi di asciugatura del bucato. La brava massaia sa bene che per evitare tali fenomeni occorre ventilare frequentemente questi ambienti soprattutto nelle giornate secche, oppure mantenere per quanto possibile calde le superfici su cui la condensa si manifesta (Figura 1-2).



*Figura 1-2 – Formazione delle condense.*

La dipendenza della pressione del vapore saturo dalla temperatura spiega anche il fenomeno della variabilità del punto di ebollizione con la quota altimetrica. La pressione del vapore dell'acqua è infatti minore della pressione atmosferica alla temperatura ambiente. Pertanto le minuscole ed invisibili

bollicine all'interno di una pentola appena messa sul fuoco presentano una pressione del vapor d'acqua insufficiente a farle crescere e a venire a galla a causa della maggiore pressione esercitata dall'esterno (pressione uguale alla pressione atmosferica nel caso di una pentola aperta). La pressione del vapore dentro ciascuna bollicina aumenta però all'aumentare della temperatura e quando la pressione interna eguaglia quella esterna, le bollicine possono crescere di diametro e nello stesso tempo andare in superficie portate dalla spinta Archimedeica (Figura 1-3). In tali condizioni diciamo che l'acqua bolle; a livello mare la pressione atmosferica è circa uguale a 101325 Pa e la temperatura di ebollizione è di circa 100°C. Quando la quota cresce (ovvero in montagna) la pressione atmosferica diminuisce e, quindi, diminuisce la temperatura di ebollizione.



*Figura 1-3 - Processo di ebollizione dell'acqua.*

Ma il nostro organismo percepisce la quantità di acqua in fase vapore presente nell'ambiente anche e soprattutto per l'importanza che l'umidità ha sul benessere termoisometrico. Il meccanismo di regolazione della temperatura corporea in ambienti caldi si basa infatti sulla sudorazione. Lo scambio termico latente attraverso la superficie della pelle è innescato sia dall'evaporazione del sottile film liquido che si viene a creare sulla pelle per effetto della sudorazione, sia per la traspirazione del vapor d'acqua attraverso i pori della pelle (Figura 1-4). L'umidità relativa dell'aria influenza in modo determinante l'entità dell'evaporazione dell'acqua dal corpo verso l'ambiente. In presenza di ambienti molto umidi ovvero prossimi alla saturazione (come saune), infatti, il meccanismo di evaporazione tende praticamente ad annullarsi.

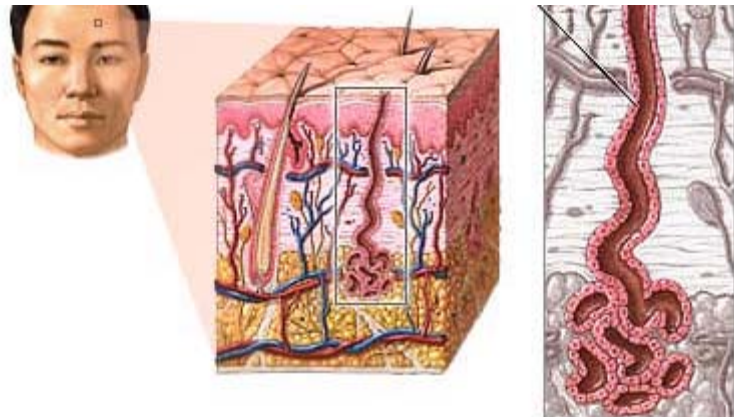


Figura 1-4 – Benessere termoigrometrico.

## 1.2. Cenni storici

I primi riferimenti storici sulla misura dell'umidità risalgono agli anni precedenti la nascita di Cristo. A quel tempo in Cina era stato realizzato il primo igrometro di tipo a bilancia di cui sia abbia traccia nella storia.

Risale invece al 1450 il primo igroscopio descritto da Nicholas Cryfts dicendo che “se qualcuno avesse a disposizione una buona quantità di lana, la legasse alla estremità di una bilancia ed, in condizioni di aria temperata, bilanciasse il peso della lana mediante delle pietre, potrebbe osservare che il peso della lana aumenta all'aumentare dell'umidità dell'aria e diminuisce quando l'aria tende a divenire più secca”. Il dispositivo descritto da Cryfts fu migliorato da Leonardo da Vinci il quale, sostituendo la lana con una spugna, gettò le basi del metodo gravimetrico di misura dell'umidità, utilizzato dall'igrometro che attualmente rappresenta il campione nazionale di riferimento.

La paternità degli igrometri la cui misura è basata sull'allungamento o accorciamento di una corda è invece attribuita a Santorio Santorre. Egli, intorno al 1614, realizzò un igrometro costituito da una corda fissata alle estremità ed al cui centro era posto un peso. All'aumentare dell'umidità la corda si contraeva facendo risalire il peso, mentre il contrario avveniva al diminuire dell'umidità. Tale tipologia di igrometro ebbe presto una rapida diffusione impiegando come elemento igrosensibile diversi materiali come, ad esempio, la carta, il nylon o i capelli.

Pochi anni più tardi, nel 1660, fu scoperto l'igrometro basato sul punto di rugiada. In quegli anni René Descartes equiparò il processo di evaporazione dell'acqua alla risalita delle polveri sollevata dai passi di una persona ed egli affermò che, sebbene l'acqua diventi invisibile dopo l'evaporazione, le particelle di vapore rimangono comunque distinte delle particelle costituenti l'aria. Durante gran parte del diciottesimo secolo era opinione comune che l'acqua si dissolvesse nell'aria esattamente come un solido si dissolve in un liquido. Sebbene nel 1738 Bernulli avesse descritto in modo corretto il processo di evaporazione mediante le teorie cinetiche dei gas, secondo la teoria più seguita a quel tempo il vapor

d'acqua era ritenuto essere una combinazione chimica di due elementi, fuoco ed acqua.

Importanti cambiamenti si ebbero a partire dal 1790, quando Andrea Deluc stabilì che il vapor d'acqua ha le stesse proprietà dei gas ed il prodotto dell'evaporazione di un liquido possiede la sua stessa natura. Egli, inoltre, osservò come la presenza di vapore, da solo e mescolato con aria, determini un incremento di pressione, rilevabile attraverso un manometro, ed un incremento di umidità, rilevabile attraverso un igrometro. Horace Benedict de Saussure (Figura 1-5), inoltre, dimostrò come il vapore esercitasse da solo una certa pressione, il cui valore dipende dalla temperatura. De Saussure produsse una gran quantità di dati, ottenuti con il suo igrometro, per diversi valori di umidità e temperatura, deducendo che il peso relativo del vapore d'acqua era circa lo stesso in tutti i casi esaminati.



*Figura 1-5 - Horace Benedict de Saussure.*

Nel 1803, infine, L.W. Gilbert affermò in modo chiaro che il grado di umidità dipende dal rapporto tra il vapore d'acqua presente e la massima quantità di vapore possibile giungendo quindi alla definizione di umidità relativa, data dal rapporto tra la pressione del vapore e la pressione del vapore saturo.

Gli enormi progressi compiuti nel ventesimo secolo circa la misura dell'umidità sono in gran parte legati anche allo sviluppo dell'elettronica. In tale periodo sono stati sviluppati i sensori e le tecniche di misura utilizzati oggi, mentre un notevole incremento delle prestazioni metrologiche di tali sensori è stato registrato negli ultimi venti anni.

### **1.3. Applicazioni della misura dell'umidità**

La presenza di umidità influenza in modo importante molti processi fisici, chimici e biologici. Essa, infatti, è sempre presente nell'atmosfera terrestre e la sua misura è di rilevante interesse in moltissime applicazioni civili ed industriali. A testimonianza di ciò basti pensare all'importanza dell'umidità nella meteorologia, in numerosi processi industriali (e.g. tessile, farmaceutico, cartario),

nello stoccaggio dei materiali, nei processi di degradazione degli alimenti. Come verrà mostrato in seguito, in alcuni campi di applicazione la misura dell'umidità costituisce un aspetto cruciale per quanto riguarda i costi, la qualità dei prodotti, il benessere o la sicurezza.

Le misure di umidità, tuttavia, presentano difficoltà maggiori rispetto alle misure di altre grandezze fisiche quali, ad esempio, temperatura, pressione, portata, ecc. Non solo, infatti, il campo di misura risulta essere estremamente ampio (circa  $10^9$  in termini di pressione parziale di vapore d'acqua), ma l'esecuzione pratica delle misure può avvenire in condizioni molto diverse sia di temperatura ( $-80 \div 1000^\circ\text{C}$ ) che di composizione gassosa dell'ambiente di misura. Ad esempio, potrebbe accadere di dover eseguire le misure in presenza di sostanze corrosive e/o di contaminanti di particolare natura chimica.

Negli ultimi anni i sensori utilizzati nella misura dell'umidità siano stati oggetto di approfondite ricerche e le loro prestazioni sono state incrementate in modo rilevante. La ricerca mirata al miglioramento dei sensori per la misura dell'umidità è ad oggi molto attiva e diversi metodi di misura e tipologie di sensori sono stati sviluppati in funzione dei differenti campi di applicazione. La scelta della tecnica di misura più opportuna non è quindi semplice. A ciò si aggiunge la confusione indotta dai diversi modi che di fatto sono utilizzati per esprimere le misure di umidità. Di conseguenza, data la sempre maggiore importanza delle misure di umidità, è richiesto un approccio il più possibile unificato e consistente.

La scelta e la gestione della strumentazione in regime assicurazione qualità rappresentano spesso un problema per molte aziende nonostante la numerosità dei principi di misura dell'umidità. Ciò è probabilmente imputabile alla numerosità dei parametri di misura e delle grandezze che influenzano il risultato finale della misurazione. In tale memoria sono illustrati criticamente i principali strumenti di misura dell'umidità dando particolare risalto al principio di misura, alle caratteristiche metrologiche ed ai limiti di funzionamento.